

# Zpracování dat z inerciálních senzorů pro měření pohybu zátěže v aplikacích řízení portálových jeřábů

Václav Helma<sup>1</sup>

## 1 Úvod

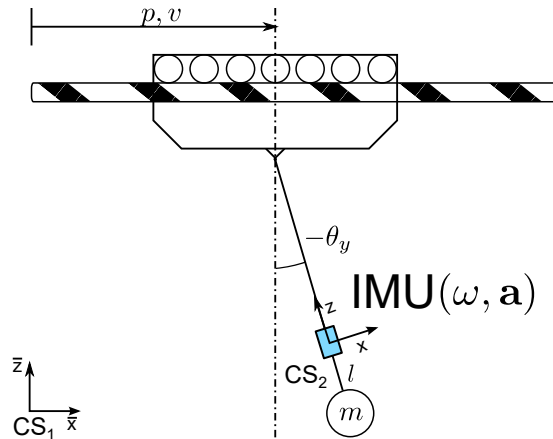
Hlavním cílem práce je navrhnout algoritmus fúze dat vhodný pro odhad úhlu náklonu háku portálového jeřábu na základě měření inerciálních MEMS senzorů (konkrétně akcelerometru a gyroskopu). Tato metoda by měla být schopna vhodným způsobem sloučit informace z obou těchto snímačů do lepšího odhadu než přístupy založené na měření pouze z jednoho zařízení. V první řadě by se algoritmus měl vypořádat s chybami měření, které jsou pro MEMS senzory typické. Kromě těchto chyb je třeba při návrhu algoritmu datové fúze zohlednit také vliv úhlového zrychlení způsobeného pohybem háku jeřábu a translačního zrychlení způsobeného pohybem vozíku, které zkreslují snímání gravitačního vektoru. Předložená metoda je otestována a porovnává se standardním přístupem prostřednictvím experimentů s využitím bezdrátové inerciální měřicí jednotky vyvinuté na našem pracovišti. Cílem bylo ověřit praktickou použitelnost algoritmů zaměřených na získávání okamžité informace o úhlech náklonu háku, kterou lze využít při implementaci systému aktivní stabilizace břemene omezující jeho kmity při manipulaci.

## 2 Motivace

Průmyslové jeřáby jsou považovány za nejběžnější manipulátory používané v množství aplikací, kde je zapotřebí přemísťovat nejrůznější náklad (např. na stavbách, v továrnách nebo při vykládání a nakládání lodí). Operátoři obsluhující daný jeřáb se při manipulaci s břemenem musí vypořádat s dynamikou houpající se zátěže. Značná pozornost byla v posledních letech věnována výzkumu a vývoji rozličných řídicích algoritmů za účelem tlumení těchto kmitů, které by poskytly pomoc lidskému operátorovi s přesnou, bezpečnou a spolehlivou manipulací s přepravovaným břemenem. Aktivní tlumení vyžaduje nasazení čidla snímajícího pohyb přepravované zátěže, které potom umožňuje uzavření zpětné vazby. Existují různé způsoby jak získávat potřebnou zpětnovazební informaci, např. kamery doplněné o techniky zpracování obrazu, lasery nebo inklinometry. Jako velmi výhodné se však jeví využití inerciálních jednotek zejména kvůli nízké pořizovací ceně a malým rozměrům takového zařízení. Inerciální jednotka může být navíc velmi jednoduše připevněna na břemeno nebo hák jeřábu. Důležitá je však volba vhodného algoritmu pro zpracování měřených dat, který zajistí kvalitní odhad úhlu potažmo úhlové rychlosti háku jeřábu. Na obrázku 1 je znázorněna formulace daného problému.

---

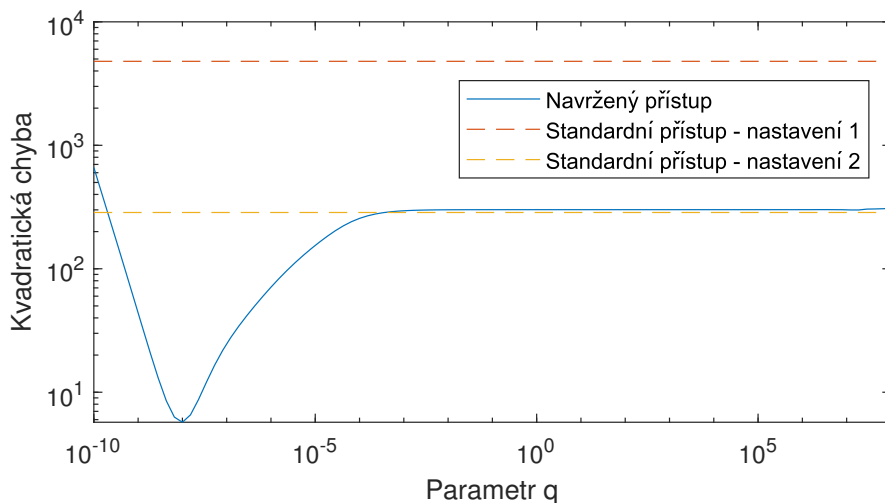
<sup>1</sup> student doktorského studijního programu Aplikované vědy a informatika, obor Kybernetika, specializace Automatické řízení, e-mail: helma@kky.zcu.cz



**Obrázek 1:** Formulace problému - rekonstrukce úhlu  $\theta_y$  v globálním souřadném systému  $CS_1$  z inerciální měřicí jednotky poskytující úhlové rychlosti  $\omega$  a zrychlení  $\mathbf{a}$  v lokálním souřadném systému  $CS_2$  snímače připojeného k břemenu,  $p, v$  označuje polohu a rychlost zvedáku.

### 3 Experimenty

V práci je popsán systematický přístup k návrhu estimátoru pro odhad úhlu náklonu břemene v aplikacích zpětnovazebního řízení jeřábů. Hlavním výsledkem je algoritmus pro kombinaci měřené informace o zrychlení a úhlové rychlosti získané z inerciální měřicí jednotky s prediktivním modelem zachycujícím dynamiku jeřábu. Toto umožňuje minimalizovat systematické chyby způsobené velkým zrychlením při pohybu břemene a vozíku, které ovlivňuje měření gravitačního vektoru akcelerometrem. Funkčnost algoritmu je demonstrována pomocí experimentálního benchmarku. Navrhovaný algoritmus je z hlediska kvality odhadu porovnán se standardním řešením pro odhad úhlu náklonu, které nebere v úvahu ani dynamiku kyvadla na vozíku (aproximující jeřáb), ani vliv rotačního a translačního zrychlení zkreslujícího měření tíhového zrychlení. Experimentálně se ukazuje, že při správném nastavení navrhovaný přístup výrazně překonává standardní řešení. Dokonce i při suboptimální volbě ladícího parametru  $q$  lze získat odhad úhlu srovnatelné kvality vzhledem k případu standardního algoritmu s nejlepším dosažitelným nastavením (viz obrázek 2).



**Obrázek 2:** Kvadratická chyba odhadu v závislosti na ladícím parametru  $q$